



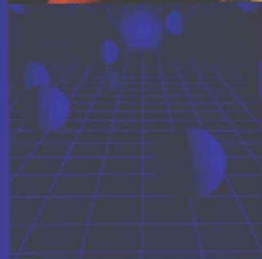
国际机械工程先进技术译丛

产品制造系统设计优化

System Design Optimization for Product Manufacturing

(美) Masataka Yoshimura 著

王军锋 闫锋欣 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际机械工程先进技术译丛

产品制造系统设计优化

(美) Masataka Yoshimura 著

王军锋 闫锋欣 等译



机械工业出版社

本书主要介绍了与产品设计与制造相关的优化技术,是产品制造系统优化技术领域的权威指南。对于产品设计与制造人员和学习相关知识与技术的人们来说,本书是不可缺少的宝典。作者吉村正孝(Masataka Yoshimura)系东京大学的名誉教授;早稻田大学访问教授、高级研究员;大阪技术学院访问教授,多年从事与产品制造相关的教学和科研工作。

本书可供从事产品设计与制造的科研技术人员、高等院校相关专业师生阅读。

System Design Optimization for Product Manufacturing by Masataka Yoshimura/ISBN: 978-1-84996-007-6

Copyright© Springer-Verlag London Limited 2010

Authorized translation from English language edition published by Springer-Verlag London Limited. All rights reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2011-5512

图书在版编目(CIP)数据

产品制造系统设计优化/(美)吉村正孝著;王军锋,闫锋欣等译.—北京:机械工业出版社,2012.7

(国际机械工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-38590-5

I. ①产… II. ①吉…②王…③闫… III. ①机械设计-最优设计②机械制造-最佳化 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第122170号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孔劲 责任编辑:孔劲 王治东 版式设计:霍永明

责任校对:张征 封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·9.5印张·183千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38590-5

定价:42.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线:(010)88379203

译 丛 序

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是 20 世纪 80 年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色

化等。

二、图书交流源远流长

近年来,国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到,我国制造业与工业发达国家相比,仍存在较大差距。因此必须加强原始创新,在实践中继承和创新,学习国外的先进制造技术和经验、引进消化吸收创新,提高自主创新能力,形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料要方便习惯,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选译严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套《国际机械工程先进技术译丛》。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制

造业各行业，例如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版《国际机械工程先进技术译丛》的专家学者，积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

译者序

制造业是人类社会所有其他产业的基础之一，关系到人们日常生活的方方面面。近百年来，产品制造模式和方法发生了多次巨大的变化，从手工小批量生产到机械化大批量、大规模生产，再到车间任务型生产、订单生产、用于参与的设计与制造。每一次制造模式与方法的变革都是伴随人类社会的经济、文化等多方面的发展完成的。这些发展激发了人类对所有产品不断提高要求，这些要求反过来作用于科学技术、生产管理模式等与制造相关的因素，促使制造业不断向前发展，制造出更为符合人类需求的产品。

本书主要介绍了与产品设计和制造相关的优化技术。只有在工程研究和实际的生产制造中掌握优化方法，了解优化技术的发展趋势、方向，才能不断推陈出新，提升制造系统的能力和效率，提升产品质量和用户满意度，才能推动制造模式和方法的发展，推动人类社会的不断向前发展。

本书第1章介绍了产品制造技术的发展，预测了制造业未来发展的方向和趋势。第2章介绍了产品制造过程中的评价标准和优化基础，主要关注了产品质量与性能、制造成本、产品需求、研发周期、库存和交货时间、与生产方法相关的问题等，另外还阐述了制造过程的灵活性、加工能力、自然环境等问题，说明了评价标准与优化的关系。第3章给出了产品制造的创新技术，包括从多个可信设计中选出最优解的过程，概念设计阶段的创意产生，还引入了并行工程和协同工作的概念。第4章介绍了产品制造中的人类因素，从人的能力、客户和制造商的关系、人机工程学、感性工程学等方面进行了阐述。第5章介绍了产品制造的支撑技术，主要包括产品形态描述技术、性能特征分析技术、产品设计创意支撑技术、数据库技术、制造支撑技术、客户需求信息获取技术、企业管理支撑技术等。第6章介绍了产品制造的优化技术，主要包括基本的优化技术和实施困难、有效实施优化方法的基本策略、系统优化的基本方法、系统设计优化的策略、备选设计方案的优选法等。第7章给出了决策方法，说明了制订决策的困难及基本规划、制订决策的基本原则以及协同环境下的决策方法。第8章阐述了创意设计的优化与权衡，并说明了两者的关系。

本书的作者吉村正孝（Masataka Yoshimura）是东京大学的名誉教授，早稻田大学访问教授、高级研究员，大阪技术学院访问教授。他多年从事与产品制造相关的教学和科研工作，成果卓著，曾创立了模态分析法，构建了对产品设计和制造进行综合评价的方法，这些都是并行工程的基础理论。20世纪90年代，他

把产品的美学和感性特征与用户满意度相结合,提出了协同设计方法,并根据分层多目标优化法建立了相应的优化方法。他的研究成果发表于相关领域内世界著名的刊物,是诸多刊物的编委。他曾积极组织参与了与制造相关的国际会议和相关活动,为世界制造业的发展作出了杰出贡献,获得了众多荣誉。

本书可谓是产品制造系统优化技术领域的权威指南。正是由于本书作者丰富的从业经验和研究经历,才使得本书成为一本优秀的畅销书籍,一本对于产品设计与制造人员和学习相关知识与技术的人们来说不可缺少的宝典。感谢本书的作者吉村正孝,正是他的不懈努力和无私奉献,才使我们能拥有这本学术著作。

西南科技大学的王军锋翻译了本书的第1、2、3、6、7、8章,西北农林科技大学的闫锋欣负责翻译了第4、5章。西南科技大学的武艳芳完成了第7章部分内容的初稿翻译,西北农林科技大学的宁东红、米晓、张虹虹、杨亚琼完成了部分章节的初译工作,西北工业大学的胡滨、舒相榕和西安欧亚学院的赵延兵、韩二伟参与了部分译稿的译、校工作。全书的终审和定稿工作由王军锋完成。其他参与了本书部分翻译工作的人员还有:苏力争、杨振朝、张莹、曹少飞、戚彬、陈伟鸿、谭邦建、饶锦锋、张延超、王淑侠、王振军、顾婷、李妙玲、徐景辉、戴高明和周杰等。

感谢西南科技大学的刘云东和李磊,他们绘制了本书中所有的图表。感谢我的妻子郭偃和女儿王若水,她们是我的精神支柱。感谢所有为本书的翻译、出版提供了帮助的人!

在翻译过程中,译者已及时修正了原书中出现的些许印刷错误,在此不再一一指出。

鉴于译者的英文理解能力和中文表达能力有限,译文难免出现错误和纰漏,望领域内各位同行和专家予以批评指正,不胜感激!

译者

序 言

本书从优化的角度介绍并阐述了与产品制造技术相关的内容。产品制造与人类生活息息相关，是最重要、最基础的活动之一，它直接或间接地影响着世界上所有人的日常生活和经济生活。一百年来，产品的制造方法正经历着巨大的发展和变化。现在，成功的制造业必须考虑产品设计和开发过程中的一系列影响因素，不仅要在激烈的产品功能、外在表现、质量和制造成本的竞争中胜出，还要满足日益严格的产品安全、环境保护、回收利用和用户主观满意度等要求，这些方面对用户来说非常重要。在这种形势下，产品制造业要在比以往更复杂和艰难的情况下作出有利的决策。传统的决策方法依赖于特定领域的改善和优化，其必须让位于更高效的决策方法。新的决策方法能考虑到各种相关因素，在逻辑上也更加精确，但要达到此目的，系统优化技术是必不可少的。

通常，人们用数学方法来描述优化概念和方法，但在工程研究和实际的工业应用中，严格的数学描述并不是关键所在，如何抓住复杂优化问题的基本思路、找到有效的方法才是重点。“优化”一词经常被使用，虽然人们对它的概念并不十分清楚，例如它通常用来描述通过某种方法获得更好的方案，或者由备选方案中选出更好的方案。真正的最优结果是很难确定的。在实际中，涉及基本的优化概念和相关描述时，优化结果就是能够达到的最理想结果。我经常听到在工业或经济领域工作的学生说，他们在实验室学到的优化概念对于他们的工作非常有用，对于优化概念的理解实际上比特定的优化工具更有价值。

如上文所述，要产生出更有价值的设计和更具吸引力的产品，必须要让所有影响因素达到很好的平衡状态，这需要了解优化概念、掌握优化技术。此外，新的产品制造技术陆续出现，制造商需要了解优化技术的发展趋势、发展方向和实际应用方法，才能更好地通过引入优化技术来获得竞争优势。本书将尽可能多地介绍与未来产品制造技术相关的重要优化技术。

在第1章中，我们将介绍过去近一百年来产品制造模式的变化。这些内容也预示了未来产品制造行业的特征，特别是那些更具优势的概念、方法和技术。第2章将介绍判断一些关键优化技术与评价相关要素适应性和特征的标准，还将讨论评价标准和优化过程的关系、各评价标准之间复杂的相互冲突关系、利用多目标 Pareto 优化解集解决产品优化问题的详细过程。第3章将介绍创新产品制造的基本概念和策略，概念设计阶段的创意产生、并行工程和协同工作。人力是实现产品制造创新目标非常重要的因素。第4章介绍产品制造和人类相关重要特征之

间的关系，帮助决策人员克服产品制造过程中的各方面困难的支持技术和系统是必不可少的。第5章阐明并解释关键的支撑技术，如信息网络系统的作用。为了在使用支撑系统时能产生最好的可能决策结果，必须选择适当的优化方法。第6章描述了当前产品设计的优化技术，介绍了包括系统优化设计的基本方法和策略，如何制造出更好的产品取决于更好的决策结果。第7章介绍了产品设计和制造的基本决策方法。产品设计和制造过程中有效的协同优化是获取最佳产品设计方案的有效方法之一。产品制造细节直接影响着大部分工业企业的成功和可持续性发展，特别是那些在世界上有着很大文化影响的企业。第8章讨论了创意设计的优化与权衡，其目标是在考虑重要的社会和环境问题的同时，将产品设计过程中的创造性、协同优化所带来的效益和产品制造所带来的文化影响最大化。

本书中的大部分内容都是我在东京大学设计与制造信息系统实验室和系统优化实验室的研究成果。我要特别感谢东京大学的同事们，包括 Shinji Nishiwaki 教授、Kazuhiro Izui 博士、Masakazu Kobayashi 博士（现在日本名古屋的丰田工业大学任职）以及其他在实验室里与我共事多年的学生。我还要感谢整理了本书英文稿的 John E. Goodman 先生，绘制了本书中插图的 Hiromi Ishizuka 女士。特别感谢我的妻子 Machiko，在过去的岁月里她给了我坚定不移的支持和鼓励。最后，感谢 Anthony Doyle 先生（英国伦敦 Springer 出版有限公司）建设性的意见和友好的帮助。

Masataka Yoshimura

于日本京都

作者简介

吉村正孝 (Masataka Yoshimura), 现任东京大学名誉教授, 早稻田大学访问教授、高级研究员, 大阪技术学院访问教授。截至 2009 年, 他已在东京大学从事教学与研究工作 34 年。他早先从事于机床结构的颤动分析研究, 并创立了模态分析法 (Modal Analysis Method)。20 世纪 80 年代, 他提出并构建了产品设计与制造的综合评价方法。这些研究成果是 20 世纪 90 年代在全球范围内广受关注的并行工程 (Concurrent Engineering) 的基础。为了利用不同工程领域工程师协同工作的优势, 他提出了有效的产品协同设计概念和方法。该方法把美学特征与传统的用户满意度评价目标有效地结合了起来, 并根据分层多目标优化方法 (Hierarchical Multiobjective Optimization Method) 建立了系统的设计优化方法, 使得与产品优化相关的所有因素都得以有效评估。

他的研究成果已发表了二百余篇英文论文, 分别刊载于 ASME (American Society of Mechanical Engineers, 美国机械工程师协会)、IJPR (International Journal of Production Research, 生产研究国际期刊)、CERA (Concurrent Engineering: Research and Applications, 并行工程: 研究与应用)、WCSMO (World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, 结构与多学科优化世界大会)、JSME (Japan Society of Mechanical Engineers, 日本机械工程师协会)、JSPE (Japan Society for Precision Engineering, 日本精密工程协会) 以及其他期刊和会议论文集中。他因对 ASME、JSME、JSPE 等协会的长期贡献成为这些协会的会士, 还出版了大量关于产品设计与制造工程、产品优化等方面的著作。他影响并推进了全球关于设计工程的相关活动。

他是 ASME 设计自动化会议 (Design Automation Conference, ASME) 的组织者之一, 同时也是该会议论文集 (1994—2000) 的评审专家之一, 该大会某主题会议的组织者, 亚洲区域的联络员。他是 IJPR、IJPE (International Journal of Performability Engineering, 国际可执行性工程期刊) 及其他刊物的编委。曾获奖项包括: 1976 年日本精密工程协会 (JSPE) 最佳论文奖, 1985 年和 1986 年日本机床工程促进协会 (Japan Society for the Promotion of Machine Tool Engineering) 最佳论文奖, 2004 年 JSME 设计工程分会杰出成就奖, 2004 年 JSME 设计工程分会杰出设计奖, 2007 年 JSME 杰出成就奖, 2008 年日本计算工程与科学协会 (Japan Society for Computational Engineering and Science) 最佳论文奖, 2009 年 ASME 设计自动化奖。

目 录

译丛序

译者序

序言

作者简介

第1章 产品制造技术的发展..... 1

1.1 产品制造概述 1

1.2 产品制造方法与模式的历史变迁 4

思考题..... 6

第2章 产品制造过程中的评价标准和优化基础..... 7

2.1 产品制造过程中的评价项和评价标准 7

2.1.1 产品质量和性能..... 7

2.1.2 制造成本 8

2.1.3 产品需求、研制周期、库存和交货期 8

2.1.4 生产方法相关问题 10

2.1.5 制造过程的灵活性 11

2.1.6 加工能力..... 13

2.1.7 安全性和可靠性 14

2.1.8 自然环境与自然资源 15

2.1.9 精神满意度 16

2.2 评价标准的要求..... 16

2.3 评价标准与优化的关系..... 19

思考题 23

参考文献 24

第3章 产品制造的创新技术 25

3.1 产品的多种选优过程..... 25

3.2 概念设计阶段的创意产生	25
3.3 并行工程	26
3.4 协同工作	32
思考题	38
参考文献	38
第4章 产品制造中的人类因素	39
4.1 产品制造过程中个人的作用	39
4.1.1 人的能力	39
4.1.2 客户和制造商的关系	40
4.2 感性工程学	41
4.3 人机工程学	47
4.4 协同环境	52
思考题	55
参考文献	56
第5章 产品制造的支撑技术	57
5.1 典型的支撑系统	57
5.1.1 产品形态描述技术	57
5.1.2 性能特征分析技术	59
5.1.3 产品设计创意支撑技术	61
5.1.4 数据库技术	64
5.1.5 制造支撑技术	65
5.1.6 客户需求信息获取技术	76
5.1.7 企业管理支撑技术	78
5.2 产品制造中信息技术的应用	79
思考题	82
参考文献	82
第6章 产品制造的优化技术	85
6.1 基本的优化技术和实施困难	85
6.1.1 线性规划问题	85
6.1.2 非线性规划问题和局部优化解	86

6.1.3 多目标优化问题	88
6.1.4 包含离散变量的优化问题	90
6.1.5 遗传算法	92
6.1.6 大规模优化问题	93
6.2 有效实施优化方法的基本策略	94
6.3 系统优化的基本方法	96
6.3.1 任务执行顺序的决策和评价特征的优化	96
6.3.2 两阶段优化法	100
6.4 系统设计优化的策略	106
6.4.1 机械产品的特征和基本优化策略	106
6.4.2 产品设计特征的优先顺序	107
6.4.3 层级优化	110
6.4.4 设计特征之间的冲突关系	111
6.4.5 层级优化的流程	111
6.4.6 产品优化的流程	112
6.4.7 关于系统优化的讨论	117
6.5 备选设计方案的优选法	117
思考题	120
参考文献	120
第7章 决策方法	123
7.1 制订决策的困难及基本规划	123
7.1.1 决策的困难	123
7.1.2 促进决策的基本规划	123
7.2 制订决策的基本原则	124
7.2.1 多因子评价的优选法	124
7.2.2 用配对比较法计算属性的权重系数	124
7.2.3 用层次分析法选择最佳方案	126
7.2.4 特定情况下的主观概率决策法	127
7.2.5 决策者个人偏好对决策的影响	128
7.3 协同环境下的决策方法	129
思考题	132
参考文献	132

第 8 章 创意设计的优化与权衡	133
8.1 基于协同的创意设计优化	133
8.2 产品制造的文化影响	136
思考题.....	136
参考文献.....	137

第 1 章 产品制造技术的发展

20 世纪，产品制造业的发展引出了产品制造目标和技术的发展方向等问题，产品与用户之间的关系也受到了广泛关注。如今，复杂产品的设计规模已从原子级、纳米级技术领域扩展到了全球范围，但保持以人体尺度为核心的重要性仍在讨论过程中。本章介绍了 20 世纪产品制造规范的变化，并解释了推动这种革命性变化的各种动力。本章的讨论还为未来产品制造业的发展指明了方向，特别是那些促进产品制造业发展的概念、方法和技术等。

1.1 产品制造概述

先进产品制造的主要目标是开发并制造那些能满足人们更高生活需求的产品，还有那些能让生活变得更加舒适、高效并使人得到更多满足的辅助产品。图 1.1 所示为一些与高质量生活相关的产品。所有产品的加工制造都取决于相关技术的发展水平。

在石器时代，早期的人类通过制作长矛和石质工具来猎杀动物、维持生命、收集可食用的植物、最大限度地保证自身的安全。这些产品都适合当时人手的形状，使用起来非常符合人体尺度。

在成千上万年的进化过程中，人类制造出了无数种产品。当今最高端的消费类产品与高质量的生活息息相关，如交通工具和为通信、商务、休闲等开发的电子类设备、娱乐产品等。这些产品及其相关技术覆盖了广泛的范围，从对原子的巧妙处理到量子效应的开发再到不朽的建筑（如大坝和大都市），但却很少将人体尺度作为设计的中心考虑。在社会发展的过程中，人类设计并建造出了更加高效的机场和铁路，为的是在短时间内把乘客送达目的地；先进的发电厂和配电网提供了更加稳固的基础设施；不断变大、变高的建筑使用了更加复杂的材料和温度控制技术来提供更高的舒适度。

一方面，如果把人类活动对自然环境和地球的影响作为一个整体考虑，将这一思想结合到产品设计与开发过程的必要性就更加明显；另一方面，当前人们似乎把主要的注意力都放在了小范围内的问题上，如把个人产品变得更加微型化，以提供更多的便利性、经济性和舒适性。在科学研究人员发明了把十亿分之一米大小范围内的特征应用到实际生产的方法之后，纳米技术受到了广泛的关注，日常生活相关产品都致力于追求更轻的质量、更高级的功能和更多的零件。在更小

的范围内，科研人员在原子和分子领域内的一些研究也取得了突破性进展，这将很快会对社会产生深刻的影响。

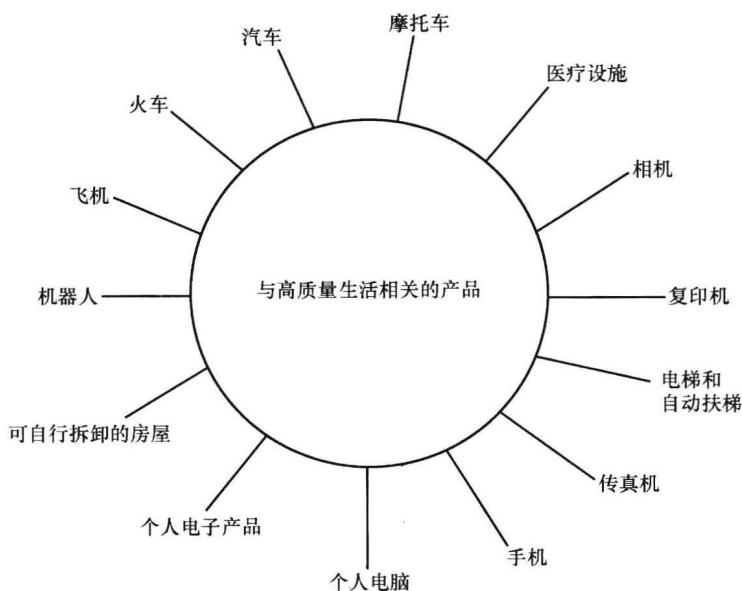


图 1.1 与高质量生活相关的产品

图 1.2 所示为当前产品制造业的覆盖范围。当前的产品制造覆盖了从原子、分子到家用产品再到汽车、火车、飞机、摩天大楼、空间站甚至是巨量土方工程等不同层次的范围。因此，消费类产品的设计、制造、销售及使用时几乎都与不断提升的生活水平有关。对于人体尺度的深刻认识至关重要，因为它几乎处于以上所有范围的中心位置。忽视人类需求，也就是那些牺牲人体尺度，过于关注特定范围的产品制造业都可能存在巨大缺陷或明显的危害。成功产品的设计与生产几乎总是取决于对以上尺度和范围之间的关系、产品的使用环境、产品的用户等多方面因素的缜密考虑。



图 1.2 当前产品制造业的覆盖范围